

ANÁLISE DE COMPONENTES SUSTENTÁVEIS APLICADAS AO PROBLEMA INTEGRADO DA MISTURA E DIMENSIONAMENTO DE LOTES

Palavras-Chave: PROBLEMA-DA-MISTURA, DIMENSIONAMENTO-DE-LOTES,
SUSTENTABILIDADE, CARBONO

Autores:

Luana Sena Cobucci, FCA – Unicamp

Prof. Dr. Diego Jacinto Fiorotto, FCA - Unicamp

INTRODUÇÃO:

O processo, em indústrias que envolvem a produção de diversos itens, utilizando várias máquinas, é tarefa complexa e precisa ser realizada rotineiramente. Nesse contexto, em muitos setores industriais, tal como o setor de bebidas, o processo produtivo apresenta diferentes conceitos de flexibilidade que podem ser modelados e terem seus benefícios analisados. De forma geral, o planejamento da produção trata não apenas das decisões de aquisição de recursos e de matérias-primas, mas também das atividades de produção necessárias para transformar estes insumos em itens finais da maneira mais eficiente possível.

Em algumas fábricas, decisões sobre as atividades de produção estão estreitamente relacionadas à definição acerca da quantidade de itens finais que devem ser produzidos. Devido a isso, obtém-se o problema de dimensionamento de lotes que consiste, basicamente, em determinar os tamanhos de lotes de produção, isto é, quantidades a serem

produzidas de cada item, em cada um dos períodos do horizonte de planejamento, de maneira a minimizar custos de produção ou maximizar margens de contribuição ao lucro e a satisfazer restrições de disponibilidade de recursos e atendimento à demanda dos itens. Neste texto, considera-se um horizonte de planejamento finito e subdividido em períodos, e a demanda de cada item em cada período é conhecida e dinâmica, isto é, varia ao longo do horizonte de planejamento.

Ademais, em muitas aplicações práticas, os produtos finais são produzidos através de vários componentes (usualmente denominados ingredientes) e, em algumas indústrias, existe alguma flexibilidade com respeito a quantidade ou volume necessário de cada componente. Por esta lógica, a proporção dos diferentes ingredientes na mistura final pode variar, desde que certas restrições sejam satisfeitas, sendo essa questão conhecida, de acordo com Arenales (2015), como o problema da mistura se referida em um único período de produção.

No entanto, em uma perspectiva de planejamento a médio prazo, não se faz

necessária apenas a solução para o problema da mistura em cada período, tem-se que determinar também o planejamento da produção dos produtos finais e dos itens componentes. Origina-se, assim, a integração dos problemas da mistura e do dimensionamento de lotes. Nesse contexto, ressalta-se que esta integração foi proposta recentemente e só existe um trabalho na literatura que aborda este problema (Fiorotto et al., 2021).

Além disso, com o desenvolvimento da consciência ambiental e da importância da sustentabilidade tão debatida em conferências, surgiram consumidores preocupados com a preservação, e desde então a indústria se deparou com problemas relacionados às suas ações causadoras de danos. Hodiernamente, a principal resposta a essa pressão ambiental é justamente a regulamentação do mercado de carbono, ou seja, criar um limite de emissões de gases do efeito estufa para as empresas, em que as mais poluentes deverão compensar suas emissões com a compra de títulos e, as que não atingiram o limite, ganharão cotas a serem vendidas no mercado. A Figura 1 representa de modo esquemático esse sistema de comercialização das emissões.

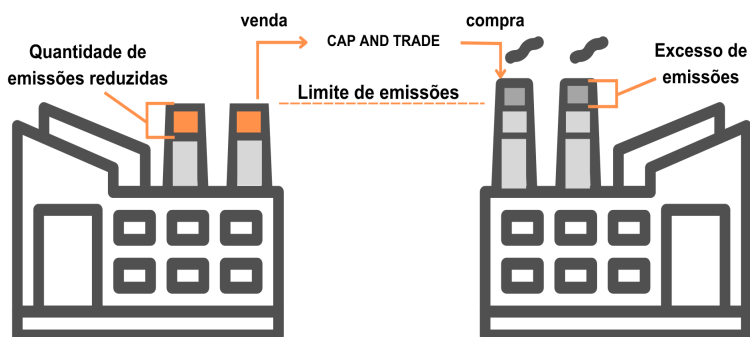


Figura 1. Esquema visual do sistema *Cap and Trade*.

Portanto, o presente trabalho propõe o estudo de formulações para o problema integrado da mistura e dimensionamento de lotes considerando uma restrição de limite de emissões de gases do efeito estufa e a precificação dessas emissões na função objetivo. Desse modo, apresentando uma formulação matemática que garante uma produção que não exceda um certo nível de emissões por período e, ao mesmo tempo, estabelece um incentivo financeiro para reduzir ainda mais as emissões, mesmo que estejam abaixo do limite. Além disso, o estudo utiliza-se de formulações existentes na literatura para analisar o impacto no valor da função objetivo do problema em comparação com modelos que não levam em consideração questões relacionadas à produção sustentável.

METODOLOGIA:

Tendo em vista o estudo de diferentes cenários para entendimento da influência dos componentes sustentáveis na formulação do Modelo do Transporte, gerou-se dados seguindo distribuições de probabilidades uniformes, considerando 30 períodos produtivos e estabelecendo todos os parâmetros constantes no tempo, com exceção da demanda.

A partir desses parâmetros obtém-se o custo de estoque dos componentes como uma parcela dos seus respectivos custos de produção e o custo de estoque do produto final como uma parcela superior dos mesmos custos de produção dos componentes. Com relação aos parâmetros dos componentes sustentáveis considerou-se as formulações por meio de uma

estimativa de valores das emissões de carbono dentro do processo produtivo de uma indústria de cerveja, utilizando como apoio para estimativa dos dados o relatório da Universidade de Michigan. Ademais, o custo de setup dos componentes foi calculado a partir de uma expressão que considera o Tempo entre Pedidos (TBO) do produto final, o custo de estoque dos componentes, a demanda do produto final e o número de períodos.

Outrossim, destaca-se a premissa de que o valor do custo e da emissão de carbono associada a produção do produto final foi adotado como 0, uma vez que considerou-se, na prática, que o custo e a emissão advém da soma dos custos/emissões dos seus respectivos componentes .

Por fim, o modelo matemático do Transporte e a nova modelagem com os componentes sustentáveis foram implementados por meio da linguagem python 3.10.13 no ambiente de programação do Jupyter Notebook. A partir do solver IBM ILOG CPLEX Interactive Optimizer versão 22.1.1.0 e utilizando a biblioteca docplex para ligação entre o solver e o python foi realizada a resolução das instâncias propostas. Além disso, os experimentos computacionais foram executados em um blabla, com um tempo de resolução limitado a 5 minutos para cada instância.

Os resultados obtidos foram armazenados individualmente em arquivos .xlsx com o auxílio da biblioteca pandas e, por fim, compilados em um único arquivo para análise. Nesse sentido, os gráficos e tabelas foram

gerados através da utilização de funções do software Microsoft Excel.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Os resultados são debatidos e apresentados a partir de duas hipóteses iniciais.

1. Desempenho computacional.

Adicionar uma restrição adicional a uma formulação matemática pode ter diversas implicações tanto no desempenho computacional quanto nas propriedades matemáticas do modelo. Primeiramente, supõe-se que o tempo necessário para encontrar uma solução aumente, pois o solver precisará considerar um problema maior e mais complexo. Além disso, do ponto de vista matemático, a nova restrição reduz a região viável do problema, o que pode eliminar algumas soluções potenciais. Isso levanta uma preocupação relevante para a pesquisa: a possibilidade de que a formulação não se adeque à restrição de emissões de carbono, resultando na ausência de qualquer solução ótima. No entanto, a hipótese defendida é que é possível encontrar soluções ótimas para o problema integrado da mistura e dimensionamento de lotes, considerando um limite regulamentado de emissões de carbono, bem como sua precificação na função objetivo.

A Figura 2 apresenta a tabela com o número de variáveis e de restrições do Modelo do Transporte (T) e do Modelo do Carbono (C) com base no número de componentes do produto final, que inicialmente fixou-se em 2.

N° componentes	N° de variáveis			N° de restrições		
	Modelo			Modelo		
	T	C	Aumento	T	C	Aumento
2	54333	54333	0	1575	1605	30

Figura 2. Desempenho dos modelos

Pela tabela, percebe-se que as dimensões de ambos os modelos são muito similares, dado que utilizou-se variáveis já conhecidas no Modelo do Transporte para adequar os componentes sustentáveis à modelagem do problema.

Logo, esses resultados preliminares estão sendo utilizados como base para uma análise mais abrangente e detalhada conforme a expansão no número de componentes, permitindo uma comparação posterior dos dados de relaxação linear e tempo de resolução de cada modelo.

2. Desempenho econômico.

Com a inclusão do custo associado a cada emissão de carbono na função objetivo, espera-se que o custo total relacionado à produção aumente, uma vez que um novo elemento está sendo considerado no cálculo financeiro. No entanto, supõe-se que os custos finais, em comparação ao Modelo do Transporte sem componentes sustentáveis, não sejam significativamente mais altos, devido à aplicação de um limite regulatório das emissões, o que restringe as possibilidades de grandes despesas financeiras.

Nessa perspectiva, a Figura 3 apresenta o aumento percentual médio da função objetivo do modelo de carbono em comparação com o modelo de transporte, com os resultados organizados em função dos custos de produção dos componentes. Além disso, é importante

destacar novamente que o número de componentes e de instâncias analisados previamente se restringem a 2 e 10, respectivamente.

Custo de Produção do Componentes	Nível de Flexibilidade(%)		
	0	5	10
Alto	17%	17%	17%
Médio	9%	9%	9%
Baixo	7%	7%	7%

Figura 3. Aumento percentual médio

Embora os percentuais obtidos representem apenas uma amostra da base completa, eles já evidenciam o comportamento esperado de aumento nos custos de produção. Contudo, observa-se que este incremento nos custos aparenta ser modesto e possível de ser absorvido pela empresa, sugerindo que a adoção do modelo de carbono não resultaria em impactos financeiros significativos a curto prazo como destacado pela hipótese inicial do projeto.

Por fim, tendo em vista que os resultados iniciais são promissores, a totalidade dos dados está sendo analisada com o objetivo de defender a viabilidade de incorporar considerações ambientais sem comprometer drasticamente o desempenho econômico da produção.

BIBLIOGRAFIA

M. N. Arenales. **Pesquisa operacional: para cursos de engenharia**. Elsevier/Campus, Rio de Janeiro, RJ, 2 edition, 2015. ISBN 9788535271614.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Economia de baixo carbono:**

para um futuro sustentável. Brasília: CNI, 2022. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/economia_de_baixo_carbono_para_um_futuro_sustentavel.pdf. Acesso em: 08 maio 2024.

D. J. Fiorotto, R. Jans, and S. A. de Araujo. **Integrated lot sizing and blending problems.** Computers & Operations Research, 131:105255, 2021.